

# Cours de biologie végétale

# Table des matières

# Chapitre 1

# Classification des végétaux

- Grande diversité du règne végétal (gymnosperme, angiosperme, champignons).

- Dans le règne végétal, on distingue les protocaryotes (=procaryotes), ce sont des êtres unicellulaires qui se reproduisent par simple multiplication cellulaire. On observe les eucaryotes qui sont pour la plupart pluricellulaires et se multiplient essentiellement par reproduction sexuée.

- Chez les végétaux, on distingue deux grands groupes :

  - **Les thallophytes** : leur appareil végétatif est appelé thalle (c'est une structure où toutes les cellules se ressemblent sans différenciation physiologiques, c'est à dire que toutes les fonctions sont réparties dans toutes les cellules). L'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait au niveau de la surface de la paroi emmiperméable de toutes les cellules. Cependant, en fonction des espèces, le thalle présente des formes très variées allant de l'état unicellulaire jusqu'à des structures complexes.

  - **Les cormophytes** : ces végétaux ont en commun une structure appelée cormus, c'est à dire une tige avec des feuilles. Les cormophytes par rapport aux thallophytes présentent des fonctions physiologiques bien définies (absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines, la photosynthèse par les feuilles et la reproduction par les tiges) et la différenciation cellulaire est importante chez les cormophytes avec un certain nombre de tissus qui assurent des fonctions spécifiques.

Chez les cormophytes, seuls **les Trachéophytes** sont vascularisées = présentent une trachée : élément conducteur de l'eau et des sels minéraux ( = sève brute ) des racines vers les feuilles et des vaisseaux capables de transporter la matière organique produite par photosynthèse ( = sève élaborée) des feuilles vers les racines, cf. plus tard.

**Les cryptogames** sont des plantes dont les organes reproducteurs sont cachés par opposition **aux phanérogames** dont les organes reproducteurs sont visibles.

- « spermaphytes » : plantes à graines

- EVOLUTION
  500 million d'années : Apparition des plantes (algue unicellulaires)
  400 million d'années : premier Trachyophyte
  350 million d'années : premier Spermaphyte
  100 million d'années : premier Angiosperme

## 1.1 Alternance des générations

Un cycle de reproduction doit comprendre deux phases, la fécondation (F) : c'est la fusion de deux gamètes pour former un zygote ou œuf diploïde ; et le méiose (M). Schématiquement, c'est l'ensemble de deux mitoses, la première est une division réductionnelle qui permet le passage d'un état diploïde (2n) à l'état haploïde, la seconde est équationnelle où les deux cellules provenant de la première mitose se divisent pour donner naissance à quatre cellules haploïdes (n) qui constituent dans un premier temps une tétrade (quatre cellules unies). Les quatre cellules haploïdes ainsi formées vont subir des étapes de maturation et de développement pour donner naissance aux gamètes. La multiplication végétative : c'est la multiplication d'une cellule par des mitoses successives soit pour former des clones indépendants (organismes uni cellulaires) soir pour former un organisme plus ou moins complexe par spécialisation des cellules néoformées.

Les phases nucléaires sont représentées par des générations morphologiques. La diplophase est représentée par un organisme qu'on appelle le diplonte et l'haplophase est représentée par un organisme qu'on appelle haplonte.

### 1.1.1 Cycle 1

C'et le cycle le plus représenté dans le règne animal. On part du zygote (Z) qui donne directement un individu, la méiose est dite terminale. Elle va donner naissance à des cellules capables de fusionner entres elles, ce sont des gamètes. La méiose est dite gamétique. La génération nucléaire est une diplophase (2n), la génération morphologique représentant l'espèce est un diplonte. Le cycle de reproduction est réduit à une seule phase morphologique, il est dit monogénétique.

### 1.1.2 Cycle 2

C'est le plus courant chez les végétaux : le zygote donne naissance à une génération morphologique en diplophase : c'est un diplonte. La méiose survient au milieu du cycle : elle est dite intermédiaire : son résultat est quatre cellules incapables de fusionner donc incapables d'assurer la fécondation, ce sont des spores dans ce cas on parle même de métaspore car issu de la méiose. Chaque spore engendre une deuxième génération morphologique qui est en haplophase, c'est un haplonte qui donnera des gamètes par simple mitose. Suivant les espèces, les deux phases sont de durée égale, on parle de cycle équilibré. Parfois, le cycle est déséquilibré c'est à dire que l'une des deux phases est dominante par rapport à l'autre. Comme n a deux générations morphologiques, le cycle est digénétique (un haplophase et une diplophase). ( isomorphe =sporophyte et gamétophyte identique morphologiquement et hétéromorphe = différent morphologiquement soit sporophyte soit gamétophyte dominant)

### 1.1.3 Cycle 3

Dès sa formation, le zygote diploïde subit immédiatement la méiose : la méiose est dite initiale ou zygotique. Elle donne une tétrade formée de quatre cellules incapables de fusionner, ce sont des spores méiotiques. Chaque spore va germer et donner naissance à une génération morphologique en haplophase, c'est une haplonte qui donne par simple mitose des gamètes. C'est un cycle dit monogénétique.

### 1.1.4 Cycle 4

Comme pour le cycle 2, le zygote donne naissance à une génération morphologique en diplophase (2n) : c'est un diplonte. Ce diplonte va donner par simple mitose des spores directes. Chaque spore va germer pour donner une deuxième génération morphologique à 2n, donc formation d'un deuxième diplonte dans le cycle. Le deuxième diplonte va subir une méiose dont le résultat est la formation de méiospores. Chaque méiospores va engendrer une troisième génération morphologique en haplophase. C'est un haplonte qui donnera des gamètes par simple mitose. Ce cycle comporte deux phases nucléaires, une diplophase et une haplophase, avec trois générations morphologiques, deux diplontes et une haplante. C'est un cycle trigénétique car il y a trois générations morphologiques.

## 1.2 Termes de biologie végétale

- phyte : plante, provient du grec

- Spore : Semences. Eléments de reproduction de nombreuse espèce végétatives. Organisme uni/pluricellulaire destiné à s'isoler du corps végétatif pour conserver ou propager l'espèce. Structure de dissémination de certaine espèces végétales.

- Gamète : Cellule mobile ou non qui forme un œuf (=zygote) par fusion.

- **L'évolution dans le règne végétale va dans le sens de la réduction de l'importance du gamétophyte au profit du sporophyte.**

  Le terme de sporophyte ou de gamétophyte ne correspond pas toujours à la même phase nucléaire. Ainsi dans le cycle 3, la méiose initiale donne des spores qui engendreront des haplontes et qui donneront des gamètes par simple mitose. Le gamétophyte dans ce cas est haploïde. Dans le cycle 1, c'est le diplonte qui donne les gamètes après la méiose et dans ce cas le diplonte est le gamétophyte ?

- Les spores ou les gamètes se forment dans des structures bien déterminées et qui sont différentes entre les thallophytes et les cormophytes.

### 1.2.1 Les thallophytes

Les spores ou les gamètes sont protégées uniquement par la paroi squelettique de la cellule qui leur a donné naissance. Cette structure est appelée cyste. Le cyste, qui protège les spores est appelé sporocyste et selon le mode de formation des spores, ce sera un sporocyste à sporulation directe (mode de formation : mitose) ou un méiosporocyste (mode de formation : méiose). Le cyste qui donnera les gamètes sera un gamétocyste. Le gamétocyste mâle contiendra un nombre important de gamètes mâles alors que le gamétocyste femelle a un nombre de gamètes très réduit parfois un seul gamète femelle.

### 1.2.2 Les cormophytes

La cellule mère subit une mitose ou une méiose suivie par des mitoses. Une partie des cellules sera stérile et s'organise en une couche de cellules périphériques à rôle protecteur. Les autres cellules seront soit des spores soit des gamètes donc gamétange ou sporange suivant les cellules. Les gamétanges mâles renferment un nombre important de gamètes mâles alors que les gamétanges femelles ne contiennent qu'un seul gamète que l'on appelle oosphère. Le gamétange femelle peut prendre le nom d'archégone. Le gamétange mâle prend le nom d'Anthéridie.

### 1.2.3 Répartition des sexes

**Une espèce monoïque** est une espèce dont chaque individu produit et porte des gamètes mâles ou femelles. Ainsi, le sporophyte mâle de cette espèce contient des spores appelés microspores et qui donne des gamétophytes mâles. Pour le sporophyte femelle, les spores sont appelés macrospores et elles donneront les gamétophytes femelles.

**Les espèces dioïques** sont des espèces où chaque individu ne porte qu'un seul type de gamètes.

### 1.2.4 Types de fécondation

**Isogamie** : Assurée par deux gamètes identique morphologiquement = isomorphe.

**Anisogammie** : Assurée par deux gamètes de différentes tailles.

**Oogamie** : gamète femelle sans flagelle = immobile, gamète mâle avec flagelle = mobile attiré par le gamète femelle.

**Cystogamie** : fusion des cytoplasme sans fusion des noyaux où deux gamétocystes s'approchent pour assurer la fécondation.

**Siphonogamie** : (Pour les champignons) La structure des gamètes femelles ( = gamétocyste) va former un pédoncule qui cherchera la structure mâle.

**Caryogamie** : fusion des noyaux.

## 1.3 Classification

### 1.3.1 Les phycophytes(algues)(appartiennent au groupe des thallophytes)

**Les phycophytes** sont des organismes autotrophes donc capables d'assurer la photosynthèse. Ils peuvent avoir un mode de vie pélagique c'est à dire mobile dans leur milieu ou fixé. Les algues ont colonisées aussi bien les eaux douces que les eaux marines.

Il existe trois groupes principaux :

- **Les chlorophycophytes** (ce fut les premières plantes terrestres), ceux sont les algues vertes
- **Les chromophycophytes (ou phéophycophytes)**, les algues brunes.
- **Les rhodophycophytes**, les algues rouges.

Les algues sont des organismes photosynthétiques donc ils contiennent de la chlorophylles qui est à l'origine de la couleur verte et qui est en association avec d'autres pigments qui peuvent la masquer parfois, on parle de pigments surnuméraires :

- Chez *les algues rouges*, la chlorophylle est associée à *la phycoérythrine* qui est responsable de la couleur rouge de ces algues.
- Chez *les algues brunes*, la chlorophylle est associée à *la phycoxanthine* qui est responsable de la couleur brune de ces algues.
- Chez *les algues bleues*, la chlorophylle est associée à *la phycocyanine* qui est responsable de la couleur bleue de ces algues.

Dans l'environnement, les algues vertes sont les plus proches de la côte, puis viennent les algues brunes et plus profond encore viennent les algues rouges. Les pigments surnuméraires permettent l'absorption de la lumière mais à d'autres longueurs d'ondes que la chlorophylle. En fait, ces pigments sont des adaptations des algues au milieu marin. Ainsi, les radiations de grandes longueurs d'onde (le rouge) sont absorbées très rapidement par l'eau ne laissant que la lumière bleue et verte qui vont être transmises jusqu'aux grands fonds. Ces deux dernières longueurs d'indes ne sont pas absorbées par la chlorophylle mais par les pigments surnuméraires. La répartition des algues marines est donc fonction de ce paramètre donc les plus proches du littoral sont les algues vertes. On trouve aussi les algues brunes et enfin les algues rouges.

### 1.3.2 Les mycophytes(appartiennent au groupe des thallophytes)

(champignons) (Voir Tp de micro)

### 1.3.3 Les bryophytes (Appartiennent au groupe des cormophytes)

Ils sont également appelés *mousse*. Ce sont des végétaux d'organisation relativement simple, de petite taille mais qui possèdent pour certains une véritable tige feuillée. Ils ont pas de véritable système racinaire. Ce sont **les archizophytes**. Il n'existe pas de véritable feuille, et il ne possède pas de système vasculaire.

Caractéristiques :
- Organisme haploïde
- Pas de véritable feuille (appendices phyllidiens)
- Pas de vaisseaux conducteurs
- Reproduction par gamètes aquatiques
- Pas de tissus ligneux (pas de tiges rigides, la lignine permet la rigidification des tissus)
- Confinées aux milieux humides (sous-bois, berges)

Ils comprennent trois classes :

- **Les Anthocérotes**
  Ils ont un appareil végétatif constitué par une lame plus ou moins étalée sur le substrat. On observe l'apparition par rapport aux thallophytes d'une orientation et d'une spécialisation dans la structure des tissus. La partie supérieure de la lame est riche en chloroplastes et la partie inférieure est riche en élément de réserves. L'appareil végétatif est un thalle = prothalle.
- **Les hépatiques**
  Ils présentent une tige couchée sur le substrat portant des rangées de feuilles dissymétriques. Les rangées de feuilles supérieures sont plus développées.
- **Les mousses**
  Ceux sont les plus connues. Leur tige est dressée et porte latéralement des feuilles vertes assimilatrices. On n'observe pas encore de système racinaire complet. On parle de Rhizoïdes. Ces derniers sont unicellulaires. Chez les deux premières classes il est pluricellulaire avec des cellules de mêmes natures chez les mousses.

Chez les mousses, on distingue les ordres suivants :

- **les bryales**, ce sont les vraies mousses.
- **Les sphagnales**. C'est un ordre très homogène avec un seul genre les spaignes qui interviennent dans l'édification des tourbières.
- **Les andréales**. C'est l'ordre le moins connu. Il ne comporte qu'un seul genre vivant sur les rochers siliceux en montagnes.

A noter que chez les Bryophyte la génération morphologique visible est haploïde (c'est le gamétophyte) alors que le sporophyte se développe en parasite.

### 1.3.4 L'adaptation des végétaux au milieu aérien

La comparaison de l'organisation des algues et des végétaux terrestres montre que ces derniers ont des structures plus complexes, les organismes qui baignent dans le milieu aquatique sont capables de prélever les éléments nutritifs de l'eau sur toute leur surface alors qu'un individu vivant dans un milieu aérien ne peut prélever que les éléments nutritifs en solution dans les interstices ou à la surface du sol.

Les bryophytes et en particulier les mousses ont mis en place des structures leur permettant de pallier à l'inconvénient du milieu aérien. Ainsi, les cellules ont une paroi plus rigide pour améliorer le soutient de la plante et qui permet de renforcer la rigidité et le port dressé de la tige. L'organisme doit

également limiter les pertes d'eau pour que le milieu intracellulaire reste favorable aux réactions enzymatiques. Pour cela, les végétaux ont mis en place au niveau des parois la formation d'une molécule appelée cutine qui est hydrophobe. Les bryophytes peuvent survivre à des périodes de sécheresses plus ou moins longues. Certaines espèces ont développé un système de conduction primitif qui permet de transporter eau et sels minéraux des rhizoïdes à la tige.

### 1.3.5 Les Ptéridophytes

"Fougère" en grec.

C'est un groupe végétal important, plus de 10000 espèces. Ce sont des végétaux qui possèdent de véritables tissus conducteurs. Ce sont des cryptogames. Ils présentent des analogies avec le groupe des bryophytes au niveau des caractères de la reproduction sexuée. On observe une alternance de génération (sporophyte, gamétophytes). Chez les ptéridophytes, on a constaté la prédominance des sporocystes par rapport aux gamétocytes. Pour la première fois, on voit l'indépendance du gamétophyte et du sporophyte mais la fécondation nécessite toujours la présence de l'eau.

Chez les ptéridophytes, on observe trois classes :

- **Les filicinées ou fougères.**
  L'organe le plus caractéristique des fougères est la feuille composée d'un pétiole principal qu'on appelle Rachis auquel est fixé un limbe vert. La tige est généralement horizontale et sous-terre qu'on appelle rhizome. Le système racinaire est formé de plusieurs racines dites Adventives car elles sont fixées latéralement sur la tige. La tige est très courte et peu ramifiée. Son cycle de développement est le suivant : le sporophyte est majoritaire, l'embryon présente pendant un certain temps un état parasitaire par rapport au gamétophyte. La croissance de l'embryon est ensuite indépendante. Il a une forme de cœur et est transitoire. Si chez les bryophytes, le sporophyte est greffé sur le gamétophyte, chez les fougères, ce lien est transitoire. Le sporophyte est un diplonte car il donne des méiospores par méiose. Le gamétophyte haploïde provient de la germination de ces spores. Le cycle est haplodiplophasique, digénétique, hétéromorphe avec nette dominance du sporophyte (diplonte). Les spores mâles et femelles sont identiques. On dit que le cycle est isosporé.

- **Equisétincée ou prèles.**
  Elles sont fréquentes dans les terrains humides. Elles sont caractérisées par deux tiges. Une tige stérile qui ne va porter que des feuilles et une tige fertile qui va porter un épi sporifère. Les quatre spores qui se forment après la méiose sont identiques mais elles donnent naissance à deux sortes de prothalles, les uns mâles vont êtres à l'origine des spermatozoïdes et les autres sont à l'origine des oosphères. Les prêles sont isosporées (=les spores se ressemblent) et sont hétérotrophes (les mâles sont différents des femelles au niveau de la ressemblance).

- **Les lycopodes.**
  L'espèce la plus représentative est la sélaginelle. La tige chez cette espèce est couverte de petites feuilles régulièrement disposées. La tige porte à son extrémité des épis sporifères. Ces épis présentent des feuilles à la base desquelles on trouve des sporanges : soit des microsporanges ou sporanges mâles, contenant de nombreuses tétrades (= quatre cellules regroupées suit à la méiose) de microspores ; soit des macrosporanges ou sporanges femelles contenant quatre macrospores.

Les sélaginelles sont dites hétérosporées (spores mâles ou femelles de forme et de taille différentes) et hétérothallées ( Condition des végétaux inférieurs chez lesquels la fécondation ne peut s'effectuer qu'entre un gamète mâle et un gamète femelle provenant de deux gamétophytes différents)

Le prothalle mâle et le prothalle femelle sont de taille et de formes différentes. Chez les lycopodes, on observe pour la première fois une structure qui préfigure la graine. Cette structure va contenir l'embryon qui provient de la fusion des gamètes mâles et femelles, un tissu de réserve qui permettra les premiers stades de développement de l'embryon et une paroi, celle de la macrospore. Chez cette famille (les lycopodes), la sexualisation apparaît dès la formation des spores. On observe l'apparition également de l'endoprothalli. C'est le fait que la fécondation va se faire à l'intérieur de la macrospore au niveau du prothalle femelle. Le cycle des sélaginelles est haplodiplophasique, digénétique, hétéromorphe avec deux générations morphologiques. L'haplante, c'est le prothalle femelle, c'est le gamétophyte femelle dans lequel on trouve l'archégone, c'est le macrosporange à l'intérieur duquel se trouvent les oosphères. Du côté mâle, l'haplante est réduit à deux cellules qui vont donner les gamétanges mâles (Anthéridies) et à c'est à ce niveau que vont se former les gamètes mâles. La diplophase est représentée par la plante entière, c'est le sporophyte. Chez les ptéridophytes, la fécondation est toujours aquatique, il y a donc un besoin d'eau pour amener les gamètes mâles aux gamètes femelles. On observe la réduction du gamétophyte et un parasitisme tempo-

raire de l'embryon (à l'origine du sporophyte) sur le gamétophyte femelle.

schema1cd

### 1.3.6 Les préspermaphytes

C'est la première plante où apparaît la graine. C'est un groupe qui a connut son apogée à l'ère primaire. Ils sont apparus il y a 400 millions d'années (au dévonien). Depuis, ce groupe a décliné pour faire place aux spermatophytes (plantes à graines). Aujourd'hui, il ne reste qu'une centaine d'espèces, véritables fossiles vivant, qui permettent d'étudier l'organisation de ce groupe. La grande caractéristique évolutive des prespermathytes concerne la miniaturisation des gamétophytes et leur intégration dans des structures protectrices.

Objectif double :
- Protéger les gamètes
- S'adapter au milieu terrestre

Ce mouvement évolutif va conduire à la formation de structures reproductrices particulières : l'ovule, les étamines et les graines de pollens. La morphologie des préspermaphytes permet de les subdiviser en deux classes :

- **Les ptéridospermes** (= les cycadophytes ou encore les fougères à graines).
  Cette classe regroupe les plantes dont l'appareil végétatif ressemble à celui des fougères arborescentes. C'est le cas par exemple des cycas qui sont des espèces décoratives survivantes de cette classe.

- **Les cordaïtes** (= ginkgophytes)
  Cette classe n'est représentée aujourd'hui que par une seule et unique espèce vivante, la ginkgo biloba (= « arbre aux milles écus »). On l'utilise pour mesurer la pollution atmosphérique.
  Les derniers survivants de cette espèce ont été localisés aux abords des monastères en Chine. L'appareil végétatif est arborescent, avec des feuilles de petites tailles, bien différenciées.

### 1.3.7 Apparition de l'ovule

L'une des grandes caractéristiques des préspermaphytes par rapport aux ptéridophytes est l'apparition de l'ovule. Il est avancé que la genèse de cet or-

gane résulte d'une tendance évolutive amorcée chez les ptéridophytes hétérotrophés et hétéroprothallés. Ainsi, chez les ptéridophytes de type sélaginelle, le gamétophyte femelle se développe à l'intérieur de la macrospore tout en restant entouré par la paroi de la macrospore. Donc, le gamétophyte femelle est ainsi mieux protégé.

Toujours chez la sélaginelle, les macrospores sont des organes de dissémination de l'espèce, elles se forment à l'intérieur du macrosporange, ce dernier prend naissance dans l'épi sporifère à la base des macrosporophytes. Chez plusieurs espèces fossiles, on a observé l'intégration de toutes les structures en un ensemble indissociable qu'on a appelé ovule.

L'ovule, tel qu'on le connaît actuellement chez le ginkgo biloba résulte de la fusion de ses différents éléments, la macrosporophylle donne le tégument (enveloppe protectrice de la graine, de l'ovule) de l'ovule, le macrosporange un tissus à rôle nourricier qu'on appelle nucelle. Le gamétophyte femelle est à l'origine de l'endosperme (tissu nourricier). Cette production accrue du gamétophyte femelle est certainement l'un des facteurs clef qui a assuré le succès des préspermaphytes et de leurs descendants, les spermaphytes.

Les ovules chez le ginkgo se développent par paire, l'un des deux avorte. On les observe toujours à l'extrémité d'un pédoncule pour constituer ce que l'on peut déjà appeler une fleur femelle. L'ovule innove également avec la nouvelle capacité d'accumuler des réserves nutritives avant la fécondation au niveau de l'endosperme. Ces réserves vont permettre l'alimentation et le développement du futur embryon résultant de la fécondation de l'un des gamètes femelle ou oosphère.

L'appareil reproducteur mâle a également subit des transformations qui ont conduit à la formation de fleurs mâles uniquement composée d'étamines (organe mâle des phanérogames (=spermatophytes), constitué d'une partie grêle (=long et menu), le filet, qui porte à son extrémité l'anthère (=terminaison renflée (dont le diamètre est plus grand à certain endroits) de l'étamine qui conduit le pollen), où s'élabore le pollen). Les étamines sont constituées d'un filet à l'extrémité duquel on trouve deux sacs polliniques. L'origine phylogénétique du filet est la microsporophylle (=étamine) des ptéridophytes hétérosporées alors que chaque sac pollinique dérive de la transformation d'un microsporange. A l'intérieur des sacs polliniques se forment par méioses des microspores. Celles-ci ne sont pas disséminées mais à l'intérieur de l'épaisse paroi de microspores se développe par simples mitoses des gamétophytes

mâles formés de quatre cellules et qu'on appelle grains de pollens.

Ce sont les grains de pollens qui vont être disséminés au contact de l'ovule qui libère les deux gamètes mâles issus de la division de la cellule gamétogène, ces gamètes vont êtres libérées au niveau de la chambre pollinique de l'ovule.

La reproduction des préspermaphytes est haplodiplophasique avec une génération gamétophytique très réduite qui se développe sur le sporophyte. Seul le gamétophyte mâle (grain de pollen) est libéré alors que le gamétophyte femelle (l'endosperme) reste inclus, piégé, à l'intérieur de l'ovule.

Lorsqu'un grain de pollen est disséminé par le vent, on parle de pollinisation anémophile. Atterri sur un ovule, il pénètre à l'intérieur de celui-ci et libère deux gamètes mâles de grandes tailles appelées anthérozoïdes. Les gamètes mâles sont ciliés et sont libérés dans la chambre pollinique où ils nagent activement. Un seul des deux anthérozoïdes féconde l'un des deux oosphères formant ainsi un zygote diploïde. Généralement, l'ovule tombe de l'arbre, la fécondation de certaines espèces peut ainsi avoir lieu après la chute de l'ovule. Le développement du zygote commence immédiatement et donne naissance à un nouveau sporophyte.

Chez les préspermaphytes, le mode de reproduction est archaïque, puisqu'il a encore besoin de l'eau pour amener les gamètes mâles aux gamètes femelles. Cependant, la fécondation a lieue à l'intérieur d'un organe de protection, l'ovule, enrichie de substances de réserves qui permettront le développement du zygote.

### 1.3.8 Les gymnospermes

Ils sont représentés par 700 espèces environ, beaucoup sont des arbres qui constituent les grandes forêts. Elles comprennent 7 classes, la plus importante est la classe des conifères qui compte environ 550 espèces. Donc les gymnospermes sont des plantes à graines. Le cycle est haplodiplophasique avec dominance du sporophyte, le gamétophyte est réduit à l'extrême. Ce dernier à une durée de vie très réduite, et il est intégré au sporophyte. La fleur des gymnospermes est réduite aux pièces reproductrices. Chez les angiospermes, la fleur est complète.

Gimno veut dire nu donc les gymnospermes sont caractérisées par un ovule et une graine non protégée. Les espèces les plus importantes sont le sapin et le pin. L'appareil reproducteur est soit mâle soit femelle mais les deux appareils existent presque toujours portés par le même arbre mais dans des structures séparées. On parle d'une espèce monoïque.

*L'appareil reproducteur mâle*

Les organes reproducteus mâles apparaissent au printemps sous la forme de petits cônes à l'extrémité des jeunes rameaux de l'année. Les cônes mâles présentent plusieurs écailles appelées microsporophylles ou étamines. Les étamines sont disposées en spirale. A la base de ce cône mâle, on trouve des écailles stériles qu'on appelle bractées. Sur la face dorsale des écailles fertiles se trouvent deux sacs polliniques ou microsporanges où va se former, suite à une méiose et à un très grand nombre de mitoses, des microspores qui seront à l'origine des gamétophytes mâles ou graines de pollens.

*Formation des gamètes mâles.*

Vers la fin février, le massif des cellules à l'intérieur des sacs polliniques, va subir une méiose pour donner pour chaque cellule quatre microspores. Chaque microspore va subir une mitose qui met en place deux cellules, l'une est appelée cellule végétative et l'autre cellule prothallienne. La cellule végétative est de taille importante et riche en molécules de réserves et dans le cytoplasme se trouve le cellule prothallienne. Chacune de ces deux cellules va subir une deuxième mitose, mettant en place une cellule génératrice issue de la cellule végétative et une deuxième cellule prothallienne. Le grain de pollen est ainsi formé, il contient deux cellules prothalliennes, une cellule végétative et une cellule génératrice. C'est cette dernière cellule qui va subir une mitose pour donner deux gamètes mâles. Comme c'est le grain de pollen qui va former les gamètes, il prend le nom de gamétophyte.

Chez les gymnospermes, le terme de gamétanges disparaît. Les grains de pollen, pour poursuivre leur développement, doivent être dispersés par le vent pour entrer en contact avec les sporanges femelles. Les gamètes mâles ne

sont plus ciliés chez les gymnospermes évoluées en comparaison aux préspermaphytes. Le grain de pollen mûr s'entoure d'une double paroi, à l'intérieur d'une couche cellulosique qu'on appelle intine, et à l'extérieur, d'une couche de cutine qu'on appelle exine.

Chez certaines espèces, tel que le sapin ou le pin, l'intine forme deux sacs qu'on appelle des ballonnets aérifières (= saillit par deux pores existants dans l'exine) , ce sont des sacs remplis d'air qui vont permettre un meilleur transport des grains de pollen. La cellule végétative est la plus volumineuse.

*L'appareil reproducteur femelle.*

Il est formé de cônes disposés à l'extrémité de certains rameaux de l'année. Ces cônes portent des bractées, donc des écailles stériles, disposées en spirales, et qui portent des écailles fertiles, les macrosporophylles. Près de l'axe du cône et leur face supérieur, chaque macrosporophylle porte deux ovules.

*Formation du gamétophyte femelle.*

Une ou plusieurs cellules sous-épidermique au niveau du macrosporophylle subissent la méiose et chacune produit quatre cellules haploïdes disposées en fils. Seule le spore le plus profond persiste et, par des mitoses successives, produit le gamétophyte femelle nommé endosperme. Les trois autres spores dégénèrent et disparaissent. C'est un tissu de réserve haploïde pour le futur embryon. A son niveau se forme un nombre variable d'organes sexuels pluricellulaires appelés archégones. Chacune de ces structures est constituée de cellules du col qui l'entoure, d'un canal et débouche sur l'unique gamète femelle, l'oosphère. L'endosperme est entouré d'un tégument. L'ensemble tégument + nucelle + endosperme + archégone forme l'ovule. (voir TP)

schema2

La maturation de l'ovule est très longue, jusqu'à 17 mois chez certaines espèces. A maturité, le tégument de l'ovule s'ouvre pour former *le micropyle.* C'est par cette ouverture que le grain de pollen va assurer la fécondation.

Une méiose à l'intérieur de l'ovule se produit ce qui va donner quatre cellules haploïdes appelées *macrospores*, mais 3 de ces 4 cellules dégénères. La cellule restante augmente de taille, se divise par de nombreuses mitoses et

donne ainsi *l'endosperme*. C'est le prothalle femelle qui se trouve à l'intérieur de l'ovule, on a donc *un endoprothalli* comme chez la sélaginelle.

*La fécondation*

L'arrivée de grains de pollen au niveau de l'ovule est assurée par le vent. La pollinisation est dite *anémophile*.

Les grains de pollens sont interceptés par les bractées du col femelle qui est dans un premier temps en position dressé sur le rameau. Les bractées se referment pour piéger les grains de pollen et le jeune cône femelle se retourne vers le bas.A ce stade, les archégones ne sont pas complètement différenciés et les ovules ne présentent pas de gamètes.

Les grains de pollens sont retenus par une substance liquide, collante au niveau de la chambre pollinique de l'ovule jusqu'à maturité de l'ovule. Lorsque les ovules arrivent à maturité, les grains de pollens germent et forment des tubes polliniques grâce à l'acidité de la cellule végétative. Les noyaux de la cellule végétative et de la cellule générative migrent le long du tube. Lorsque le tube pollinique entre en contact avec le nucelle, le noyau de la cellule générative donne deux gamètes mâles sans flagelles. La fécondation a lieue fin juin, le délai entre la pollinisation et la fécondation est de plusieurs mois. Ce mode de fécondation est appelé *siphonogamie*.

Un seul des deux gamètes formé par grains de pollen assure la fécondation de l'oosphère. Le deuxième gamète féconde l'oosphère d'un archégone voisin ou reste inutilisé et dégénère. Deux ou trois archégones peuvent être fécondés par l'ovule mais finalement, seul un embryon se développe et permettra la formation de la futur plante.

L'embryon se divise de façon très importante et produit un ensemble formé d'un cordon cellulaire qu'on appelle suspenseur terminé par un pro embryon. *La polyembryonie* (présence de plusieurs embryons) est très commune chez les gymnospermes et elle a pour origine la présence de plusieurs archégones par ovule. Le tégument de l'ovule se différencie et se transforme pour assurer la formation du tégument ou écaille de la graine qui a un rôle protecteur.

Le développement de l'embryon exige des sources de carbone et d'énergie. La source de ces éléments est l'endosperme. La graine se détache du cône femelle au cours de la maturation de l'embryon qui est toujours très lente.

La dissémination de cette graine peut être facilité par la présence d'une aile comme chez le pin. Après une période de repos ou dormance, la graine

germe lorsque les conditions sont favorables. A la germination de l'embryon, il y a formation de plusieurs feuilles (= cotylédon).

### 1.3.9 Les angiospermes

Ils sont caractérisés par l'apparition d'une structure appelée ovaire qui protège les ovules. L'ovaire trouve son origine dans les macrosporophylles qui se ferment pour former une loge où on trouvera les ovules. Chaque macrosporophylle participent à la formation de l'ovaire (= carpelle qui est un critère de classification des végétaux).

Par rapport aux gymnospermes, les ovules ne sont plus nus mais compris dans un ovaire à rôle de protection. Les appareils reproducteurs se trouvent dans un organe appelé fleur. Chez les fleurs dites complètes, le réceptacle floral (=extrémité élargie du pédoncule florale) porte généralement 4 verticilles. Ce sont les pièces florales. De l'extérieur vers l'intérieur, on observe d'abord le calice qui comprend l'ensemble des sépales. Ce sont généralement des pièces chlorophylliennes capables s'assurer la photosynthèse et à rôle protecteur.

Après le calice, on trouve la corolle, c'est l'ensemble des pétales. Ce sont des pièces généralement non chlorophylliennes à double rôle, protection et attraction des insectes. Ces deux verticilles constituent le périanthe. Enfin, on trouve l'androcée, qui est formée par l'ensemble des étamines, c'est la partie mâle de la fleur. Chaque étamine est formée d'un filet qui permet l'insertion de l'anthère sur le réceptacle florale ou sur une autre pièce florale, par exemple les pétales.

C'est au niveau de l'anthère que se produit les graines de pollens. Le pistils ou gynécée, qui est le quatrième type de verticille, est l'appareil reproducteur femelle, disposé au centre de la fleur, et qui comprend trois parties : l'ovaire, surmonté du pistil, au sommet duquel on trouve le stigmate.

Le pistil est formé par un certain nombre de carpelles. Chaque carpelle équivaut à une macrosporophylle qui a participé à la formation de l'ovaire et du pistil. Les bords d'un même carpelle se soudent l'un à l'autre produisant des carpelles fermés où ils laissent un espace libre produisant des carpelles ouverts.

Si les carpelles sont isolés et indépendants les uns des autres, on parle de gynécée apocarpe ou gynécée dyalycarpellée. Si les carpelles sont soudés entre eux ou confondus en une seule masse unique, on parle alors de gynécée

syncarpe ou gamocarpellée.

Lorsque le gynécée est syncarpe, l'union des carpelles concerne principalement l'ovaire, le style et le stigmate demeurent indépendants. Toutefois, chez certaines espèces, l'union des carpelles peut être total.

A l'ensemble de la fleur complète peut s'ajouter les glandes nectarifêas capables de sécréter un liquide riche en sucre à rôle attractif pour les insectes.

*L'ovule des angiospermes*

Il comporte trois parties, le nucelle (= le cœur de l'ovule), c'est un tissu à position centrale ; un ou deux téguments, le tégument externe ne fait tout le tour de l'ovule alors que le tégument interne oui et ménage une ouverture lors de la séparation des téguments, le micropyle. Enfin, la troisième partie est le funicule : c'est un fin cordon plus ou moins allongé suivant les espèces, qui relis l'ovule au placenta de l'ovaire.

On définit une zone appelée chalaze, c'est la zone où le tégument interne de l'ovule s'individualise à partir du nucelle. Chez les angiospermes, il existe trois types d'ovules, l'ovule *orthotrope* (si le trait qui relie le hile est droit), c'est l'ovule qu'on observe chez les gymnospermes et chez certains angiospermes.

La zone à la base de l'ovule où se fait la fusion de l'ovule et de l'ovaire est appelée *hile*. Dans les ovules orthotropes, le micropyle, la chalaze et le hile sont des prolongements des uns et des autres.

L'ovule *campylotrope*, l'axe hile, chalaze, micropyle s'incurve entre 60 et $90^{\circ}$ au-dessus de la chalaze.

L'ovule *anatrope ou renversé*, le micropyle se rapproche encore plus du hile, il se met en face de celui-ci. C'est le cas le plus fréquent chez les angiospermes, le téguments exine est soudé sur une grande surface au funicule, cette zone est appelée la *raphé*.
On ne peut jamais avoir deux téguments !

### 1.3.10 Formation des macrospores

L'ovule est le macrosporange, une cellule unique qui subit une méiose. C'est une cellule du nucelle diploïde qui se transforme en une cellule mère

qui va subir la méiose pour donner 4 macrospores. Ces dernières sont disposées linéairement (ou en fil), et seule la plus profonde poursuivra son évolution pour donner le gamétophyte femelle ou *sac embryonnaire.*

Les 3 autres macrospores dégénèrent rapidement. La macrospore restante grossit et subit 3 mitoses pour donner 8 noyaux disposés de la façon suivante : du côté du micropyle, on parle de *pôle micropylaire* où se positionnent trois cellules, l'oosphère qui est le gamète femelle et *deux cellules synergides.* Du côté de la chalaze, c'est le pôle chalazien où se met en place les *trois cellules antipodes.* Les deux noyaux restent libres et migrent vers le centre du sac embryonnaire où ils forment les deux noyaux polaires. Le gamétophyte femelle des angiospermes est formé d'une cellule diploïde et de six cellules haploïdes. Un ovule est mature est constitué de deux téguments, du funicule, du sac embryonnaire et du reste du nucelle.

schéma3

### 1.3.11 Appareil reproducteur mâle : formation des microspores

Il est formé d'un ensemble d'étamines. Chaque étamine est formée d'un filet et d'une anthère. Dans les ébauches d'étamines, deux bandes longitudinales de cellules par loge se différencient en archéspores (ce sont des spores archaïques).

Un cloisonnement (ce qui équivaut à la mitose) tangentielle dans chacune des archéspores délimitent une cellule pariétale et une cellule sporagène plus profonde. La cellule pariétale participe à la formation des différentes assises de l'anthère comprises entre l'épiderme et le sac pollinique proprement dit. Ces assises sont : l'assise mécanique, l'assise transitoire et le tapis. Les cellules sporagènes se multiplient par des mitoses répétées qui produisent les cellules mères des microspores. Ces cellules de grandes tailles sont réparties dans quatre massifs correspondants chacun à un sac pollinique (il y a donc quatre sacs par étamine). Chaque cellule mère subit la méiose et produit à l'intérieur de sa paroi quatre microspores haploïdes. Ces derniers, après les étapes de différenciation tout en restant ensembles vont se séparer après disparition de la paroi de la cellule mère. Les microspores se divisent ensuite et forment une cellule végétative de grande taille et une cellule générative ou cellule spermatogène emprisonnée dans le cytoplasme de la cellule végétative et de forme généralement lenticulaire.

A ce stade, on parle de grain de pollen qui va former deux parois, l'exine et l'intine. L'exine n'est pas une paroi continue, elle présente des espaces vides appelés pores germinatifs. Suivant l'espèce végétale, la cellule spermatogène peut subir immédiatement une mitose et donner deux gamètes mâles soit attendre l'arrivée au niveau des stigmates des gynécées pour subir cette mitose et former les gamètes. Pour résumer, les étamines sont les sporanges mâles et sont formés de quatre sacs polliniques où se formeront les grains de pollens, ces derniers sont les gamétophytes mâles.

### 1.3.12 La fécondation

Avant la fécondation, on va avoir plusieurs étapes :
- La pollinisation
- La germination des grains de pollens sur le stigmate
- La progression du tube pollinique à travers les tissus du gynécée.

La pollinisation est le transport du grain de pollen jusqu'à un stigmate, il en existe deux types :
- L'autopollinisation ou autogamie : pollinisation des grains de pollens d'une même fleur.
- La pollinisation croisée ou *allogamie.*

L'autogamie est un phénomène exceptionnel chez les végétaux.

L'allogamie favorise le brassage génétique chez les plantes dioïques ou lors de la dichogamie (c'est la séparation des sexes dans le temps). Les étamines et les gynécées des fleurs hermaphrodites ne parviennent pas à maturité simultanément. On peut également ajouter les plantes monoïques.

Autostérilité ou auto incompatibilité : ce dernier phénomène consiste à une impossibilité pour le grains de pollen d'une fleur de germe sur le stigmate de la gynécée de la même fleur ou d'atteindre et de féconder l'oosphère de la même fleur. Chez les angiospermes, la pollinisation est assurée par des agents externes : par exemple, on parle d'anémophilie ou anémogamie : pour les insectes, on parle d'entomophilie ; pour les animaux, on parle de zoïdophilie ; pour les oiseaux, on parle d'ornitophilie ; pour les chauves souris ; on parle de chiroptérophilie. Par l'eau, on parle d'hydrophilie.

La germination du grain de pollen exige la présence de l'eau, de sucres et d'éléments minéraux. Ces éléments sont libérés par le stigmate, le grain de pollen se regorge d'eau, augmente de taille et germe. La cellule végétative forme le tube pollinique qui fait sailli par un des pores germinatif du grain de pollen.

Il traverse le stigmate, le style et l'ovaire pour arriver au niveau de l'ovule. Le tube pollinique entre dans l'ovule soit par le micropyle, c'est l'acrogamie, soit exceptionnellement par la chalaze et c'est la chalazogamie.

Après avoir traversé le nucelle de l'ovule, le tube pollinique parvient au sac embryonnaire. Il y pénètre entre l'oosphère et une cellule synerzoïde ou, chez certaines espèces, dans une cellule synergide. Il ne pénètre jamais directement dans l'oosphère (gamète femelle). Le noyau végétatif du grain de pollen dégénère à ce stade, l'extrémité du tube pollinique se déchire. Son contenu est notamment les deux gamétophytes mâles se libèrent dans le sac embryonnaire. Chez les angiospermes, les phénomènes de fécondation sont particuliers car ils consisteront en une double fécondation. Un des noyaux gamète mâle va féconder l'oosphère ce qui va permettre la formation de l'embryon zygotique, le deuxième noyau gamète mâle va s'unir aux deux noyaux polaires parfois déjà fusionnés. De cette union résulte la formation dans le sac embryonnaire d'un noyau triploïde (= zygote accessoire) (c'est-à-dire trois n). Cette cellule va subir de très nombreuses mitoses pour donner naissance à un tissu de réserve = albumen qui servira au développement de l'embryon. C'est l'équivalent de l'endosperme des gymnospermes sauf qu'il est à trois n au lieu de n et il se forme après la fécondation. Certaines espèces végétales peuvent se multiplier sans reproduction sexuée bien qu'elles disposent de tous les organes. Le terme d'apomixie est le plus utilisé pour décrire le processus reproducteur dans lequel n'intervient pas de fusions de gamètes mais formation d'embryons.

Lorsqu'il y a formation d'un embryon à partir de l'oosphère, c'est la parthénogenèse haploïde. L'apogamie est dite lorsqu'il t a formation de l'embryon à partir d'une autre cellule du sac embryonnaire autre que l'oosphère.

L'apospories est le développement d'un embryon à partir d'une cellule diploïde qui ne résulte pas de la fécondation. La polyembryonie est définie par la présence de plusieurs embryons dans un même fruit (donc dans une même graine).

Ces embryons peuvent provenir d'un embryon normal et de plusieurs embryons formés par apomixie. On peut également observer la formation de plusieurs embryons dans la même graine issus de la coexistence de plusieurs sacs embryonnaires dans le même ovule.

### 1.3.13 La graine

Sitôt la fécondation réalisée s'amorce la fanaison et la chute de toutes les pièces florales à l'exception de l'ovaire. L'ovule se transforme, il va contenir l'embryon zygotique, l'albumen et les téguments séminaux résultants de la transformation du ou des téguments de l'ovule.

En résumé : l'oosphère -> embryon zygotique 2 noyaux polaires ->albumen Ovule ->graine (dans laquelle on trouve : embryon zygotique ; albumen ; téguments séminaux) Ovaire ->fruit qui sert à protéger la graine et permet la dissémination.

L'embryon zygotique se développe et forme une plantule, elle présente 3 parties :

- Cotylédons (ce sont la ou les deux premières feuilles qui apparaissent. Elle sont préfigurées dans la graine et disparaissent après lors du développement de la tige)
  - A une feuille : monocotylédon ->groupe de monocotylédones
  - A deux feuilles : dicotylédones

- On a un bourgeon qui sera à l'origine de la tige, la gemmule.

- Une radicule qui sera à l l'origine des racines.

# Chapitre 2

# L'appareil végétatif

*Qu'est ce que l'appareil végétatif ?*

C'est un être vivant qui se développe, se nourrit et se reproduit. Il est organisé, c'est-à-dire qu'il est formé d'unités distinctes : les cellules. Ces dernières sont reliées entre elles, elles constituent la base des tissues, les cellules végétales sont également différenciées en fonction de leur position et de leur rôle dans le végétal. Un végétal qui se développe veut dire qu'il se forme à partir d'une cellule œuf, il grandit jusqu'à former l'organisme adulte. Il se nourrit c'est-à-dire que grâce au processus de photosynthèse, il forme de la matière organique à partir de CO2 atmosphérique. Enfin, il se reproduit c'est-à-dire qu'il forme des organismes qui lui sont identiques.

Définition de quelques termes utilisés pour définir le plan de l'observation en biologie végétale :

- *Le cloisonnement péricline* : la division cellulaire est parallèle à la surface de l'organe. C'est une division qui va permettre l'augmentation de l'épaisseur. Le cloisonnement anticline est une division cellulaire parallèle à la première. On parle de cloisonnement oblique dans tous les autres cas.
- *La coupe longitudinale* est une coupe parallèle au grand axe de l'organe. Le couple axial est une coupe longitudinale qui passe par le milieu de l'organe. La coupe tangentielle passe par la périphérie de l'organe. La coupe transversale est une coupe réalisée perpendiculairement au grand axe de l'organe.
- Au niveau de la paroi cellulaire, il existe des espaces qui permettront des échanges rapides entre les cellules qu'on appelle *plasmodème.* L'espace formé au niveau du plasmodème est appelé *ponctuation.*

## 2.1 Les tissus des végétaux

Chez les végétaux, les cellules présentent les mêmes fonctions qui sont groupées en un ensemble appelé tissus. Ces derniers résultent de la différenciation de cellules nées du fonctionnement des méristèmes. Ces cellules, au départ sont toutes semblables par leur forme, leur métabolisme et leurs fonctions. Chez les végétaux inférieurs, la notion de tissus n'existe pas car toutes les cellules sont capables d'assurer toutes les fonctions principales même si parfois, chez certaines espèces, elles sont toutes différenciées dans leur organisation. Les tissus se forment par des divisions répétées et orientées en des sens variables. Les cellules qui les constituent restent plus ou moins unique et peuvent évoluer différemment en ce qui concerne leur structure interne et aussi en ce qui concerne leur paroi. La nature de la paroi et la disposition relative des cellules dans l'organe suffisent à identifier les différents tissus qui forment l'organe.

Chez les végétaux supérieurs, on distingue 6 types de tissus :

- Les tissus méristématiques
- Les tissus parenchymateux
- Les tissus de revêtements
- Les tissus de soutien
- Les tissus conducteurs
- Les tissus excréteurs.

## 2.2 Les méristèmes

Il existe deux types de méristèmes, les méristèmes apicaux, ces méristèmes se trouvent au niveau de l'extrémité des tiges et des racines. Dans ce groupe, on rajoute les méristèmes axillaires, ce sont des méristèmes primaires qu'on trouve à la base des feuilles et des rameaux de la tige. On trouve également les méristèmes latéraux ou méristèmes secondaires. En général, un méristème est constitué de jeunes cellules non différenciées et qui subissent de fréquentes divisions cellulaires.

### 2.2.1 Les méristèmes apicaux ou méristèmes primaires

Ce sont des méristèmes qui apparaissent très tôt, en fait ce sont les méristèmes qui assurent la production de tous les organes de la plante. Ces

méristèmes sont formés d'un nombre plus ou moins élevé de cellules avec une activité lithotyque intense et une multiplication cellulaire qui suit des règles bien déterminées. Les cellules de ces méristèmes sont de petites tailles, isodiamétriques, leur noyau est important, les vacuoles sont nombreuses et petites et le cytoplasme est très peu riche en substance plasmique. Ce sont des méristèmes que l'on rencontre chez tous les cormophytes.

### 2.2.2 Les méristèmes latéraux ou méristèmes secondaire

Ils ne se rencontrent que chez les gymnospermes et les angiospermes des cotylédones. Ils font défauts chez les angiospermes dicotylédones de type herbacé. Chez certains herbacé, on peut les observer mais leur fonctionnement est limité dans le temps. Ils sont totalement absents chez les monocotylédones. Les méristèmes secondaires sont constitués d'assises génératrices sous forme d'anneaux formés de cellules capables de se diviser rapidement. Ces cellules diffèrent des cellules du méristème apical par la forme (rectangulaire et aplatie radialement) leur contenu cellulaire (une vacuole centrale avec un contenu peu concentré, un noyau qui occupe une position latérale, et un rapport nucléoplasmique (surface noyau / surface totale) plus faible). Les méristèmes latéraux assurent l'accroissement en épaisseur des organes. On peut les observer dans les tiges, ce sont les rameaux des tiges et dans les tissus. Il existe deux types de méristèmes secondaires, le cambium ou *assise libéro ligneuse* et *l'assise subéro phellodermique* ou *phellogène*. Le cambium est situé à l'intérieur de l'organe, il forme du liber (phloème secondaire ver la périphérie de l'organe) et du xylème secondaire vers l'intérieur. Le phellogène est situé dans la racine et/ou dans la tige. Sa formation n'est pas obligatoire. On peur observer chez certaines espèces que la formation du cambium n'est pas di phellogène, il se forme toujours après la formation du cambium. Le phellogène occupe une position variable dans les organes, mais généralement il est plus périphérique que le cambium.

Vers l'intérieur, le phellogène produit un tissu appelé phelloderme, c'est un parenchyme secondaire assimilateur (il fait de la photosynthèse) ou de réserve. Les cellules produites vers l'extérieur accumulent au niveau de leur paroi un composé hydrophobe appelé subérine. Il se transforme en liège ou suber. C'est un tissu mort qui joue un rôle de protection.

L'ensemble du phelloderme et du suber forme le *périderme*.

Les méristèmes et les tissus qu'ils génèrent sont les parenchymes.

## 2.3 Les parenchymes

L'ensemble des tissus nés du fonctionnement des méristèmes constituent les parenchymes. C'est un tissu fondamental au sein duquel vont se différencier les différents types de cellules spécialisées. Ils sont constitués de cellules très peu différenciées. Ils peuvent trouver facilement la propriété de se diviser grâce à un processus qu'on appelle différenciation. Ce sont donc des cellules capables de revenir à l'état initial et les biologises ont tendance à le considérer comme le parenchyme.

Ils ont une tendance qui considère les parenchymes comme un tissu de remplissage. Cependant, cette tendance est fausse. Si les cellules su parenchyme paraissent simples par leur structure, leur physiologie est complexe. Ils jouent un rôle important dans la mise en réserve et dans la photosynthèse. La cellule du parenchyme est une cellule vivante. Sa paroi est mince, de nature pectocellulosique. Dans des rares cas, cette paroi peut subir une légère lignification. Dans la paroi d'une cellule du parenchyme, on trouve : de la cellulose et de la pectine. Certaines s'enrichissent aussi en lignine (–>lignification). On peut aussi trouver de la cutine et de la subérine.

La vacuole est très importante. Les cellules sont soit isodiamétriques soit allongées. La classification des parenchymes est basée sur leur rôle dans la plante.

### 2.3.1 Parenchyme chlorophyllien (fig. 50-51)

On les appelle aussi *les parenchymes assimilateurs*. Ce parenchyme est situé au niveau de la partie aérienne, c'est-à-dire feuilles et tiges, il est très riche en chloroplaste donc en chlorophylle, il est à l'origine de la couleur verte de plantes. Les cellules sont en contact le unes avec les autres, mais parfois une gélification de la lamelle moyenne des parois entraîne la formation d'espaces vides qui, selon leur taille, vont être appelés méats ou lacune (surface entre les cellules qui a une taille supérieure à une cellule et demie). Ce sont des espaces intercellulaires remplis de gaz (fig. 50). Ce parenchyme peut être homogène c'est-à-dire formé de cellules de formes identiques, c'est le cas chez les monocotylédones, ou il est hétérogène, c'est-à-dire constitué de deux parenchymes dont les cellules ont des formes différentes (c'est le cas des feuilles de certains dicotylédones).

### 2.3.2 Parenchymes de réserves (fig. 52)

*Localisation*

C'est au niveau de ce parenchyme que va se faire le stockage des molécules de réserves (par exemple l'amidon). Ce parenchyme peut être localisé sur les organes sous terrains tels que les racines, des tiges souterraines et les graines. Il est formé de cellules plus ou moins hexagonales, dépourvues de chlorophylle mais riches en molécules énergétiques que la plante utilise au moment convenable. Ces molécules peuvent être stockées soit au niveau cellulaire soir dans les plantes soit dans la vacuole soit dans le cytoplasme. On peut avoir un stockage au niveau des tiges aériennes.

*La nature des réserves*

Fig. 52 : Ces molécules de réserves sont de nature très diverse, les glucides sont hydrosolubles (solubles dans l'eau) tels que le saccharose et le glucose, par exemple la tige de la canne à sucre et la tubercule de betterave.

L'insuline, dans les racines de dahlia et dans les tubercules de topinambour.

Les glucides hydrosolubles, l'amidon, c'est la molécule de réserve la plus répandue chez les plantes (par exemple la pomme de terre). Les lipides, dont les graines des légumineuses, des protéines qui sont accumulés dans la vacuole sous forme, s'il y a déshydratation, les protéines précipitent et donnent des grains d'aleurone. La cellulose, au niveau des parois des cellules (exemple : au niveau des grains fig. 52). La plante utilise ses réserves pour former une nouvelle plante (exemple tubercule de patate) pour une meilleure croissance, pour mieux tolérer les stress de l'environnement, ...

### 2.3.3 Parenchyme aquifère et aérifère

Les parenchymes aquifères présentent des cellules avec une vacuole très développée où s'accumule de l'eau. Cette dernière va être utilisée par la plante lors de la période de sécheresse, par exemple les plantes grenues ou cactus, ... Les parenchymes aérifères sont fréquents dans les organes immergés des plantes aquatiques, les cellules sont en fils et délimitent des lacunes de grande taille où s'accumulent de l'air. C'est un parenchyme qui contribue à la flottaison de la plante. Il existe des parenchymes particuliers tels que celui de

pétales qui est très riche en chromo plastes. Ce sont des organites cellulaires où s'accumulent les pigments.

### 2.3.4 Parenchymes de soutiens

Ce sont des tissus fondamentaux dont le rôle mécanique est de contribuer à la solidarité de la plante. Ils sont une paroi très épaisse. On y distingue le *collenchyme* (fig. 78). Les cellules de ce tissu sont plus ou moins allongées. Leurs extrémités font des angles, elles peuvent parfois être fusiformes. Les cellules de ce tissu présentent des ponctuations donc des espaces qui permettent des échanges entre les cellules. Le collenchyme est formé de cellules vivantes à paroi pectocellulosique caractérisé par l'alternance de couches riches en celluloses et en pectine.

L'épaississement de la paroi confère à ce tissu et donc à la plante une résistance élevée aux forces de traction et de pression. Le tissu confère aux organes une souplesse et une élasticité. Le collenchyme se différencie très tôt dans les organes en croissance, il se trouve généralement à la périphérie des organes. Ces cellules présentent un cytoplasme pariétal en fines pellicules appliquées contre la membrane et contenant un noyau et des plastes (chromo plastes et amiloplaste –plantes où s'accumulent l'amidon). La vacuole centrale est de très grande et peut contenir des substances comme le taxin. Le collenchyme se rencontre dans de nombreux organes, chez de nombreuses espèces et surtout chez les dicotylédones. Il est fugace chez les arbres et les arbustes, très rares chez le monocotylédone et exceptionnel dans le racines. Le collenchyme est un tissu qui peu se transformer en un deuxième tissu de soutient appelé sclérenchyme par une lignification de sa paroi.

*Le sclérenchyme* : La paroi des cellules du sclérenchyme est épaisse de façon uniforme, le dépôt de lignine au niveau de la paroi les rend imperméables à l'eau. Donc le sclérenchyme est forme de cellules mortes. Les ponctuations au niveau des parois st de type canalicule. Le sclérenchyme est un tissu plus profond que le collenchyme, il se développe, il se développe généralement dans les organes aériens (feuilles et tiges), il confère dureté et rigidité aux organes où il se trouve. D'après la forme des cellules, on distingue :

- *Les cellules scléreuses* : ce sont des cellules isodiamétriques, rondes, mais chez certaines espèces, on peut rencontrer des cellules ovales ou polyédriques. Leur paroi est entièrement lignifiée et creusée de nombreuses ponctuations en canalicule. La paroi délimite un lumen, ce terme correspond à la cavité cellulaire dont tout contenu disparu. Les cellules

scléreuses sont des cellules mortes, conséquence de l'imperméabilité de leur paroi. Ces cellules peuvent se présenter seules ou en amas. On en trouve dans le fruit du poirier, dans les épies du rosier, dans le noyau des drupes. Le rôle de ces cellules est donc soit le rôle de soutient soit le rôle de protection.

- *Les cellules sclériques* : Par rapport aux cellules scléreuses, les sclériques se caractérisent par une taille plus grande et une forme ramifiée parfois en étoile. Les sclérites peuvent se rencontrer dans les feuilles de l'olivier. Elles peuvent s'étendre, chez certaines espèces, surtout le long de la feuille.

- *Les fibre* : Ce sont des cellules allongées, fusiformes à paroi épaisses plus ou moins lignifiées. Il limite une cavité centrale appelée lumen donc ce sont des cellules mortes. Toutefois, le cytoplasme peut subsister même après le dépôt de lignine.
  Ces fibres peuvent atteindre parfois quelques cm de longueur, et leur extrémité est souvent effilée, rarement ramifiée.
  On distingue les fibres corticale (le terme vient d'écorce). Elles sont localisées dans le parenchyme corticale (= écorce ou phelloderme). Ces fibres péricycliques se trouvent en contact avec le phloème primaire ou la xylème primaire. Les plantes qui présentent des fibres textiles ont une paroi non ou peu lignifiée (par exemple le chanvre et le pin).

## 2.4 Les tissus de revêtement

Ce sont des tissus qui mettent en contact la plante avec le milieu extérieur. Ce sont :

- L'épiderme, observé au niveau des feuilles, des tiges sans liège et des organes floro. Par exemple : l'assise subéreuse chez les racines des dicotylédones et les gymnospermes.
  Chez les monocotylédones, l'équivalent de l'assise subéreuse est appelée assise subéroïde.
- Le liège a pour équivalent le suber et s'observe à la périphérie des organes possédant d'importantes structures secondaires.
- Les téguments séminaux à la périphérie des graines.

### 2.4.1 L'épiderme (fig. 54)

C'est une assise superficielle constituée généralement par une seule couche de cellules. Ce revêtement est imperméable car les cellules montrent une paroi périphérique plus ou moins épaisse et riche en cutine. Cette paroi est appelée la cuticule.

Cutine = lignine = paroi hydrophobe.

Cependant ce revêtement n'est pas continu, il est interrompu en certaines régions par des couvertures. Ce sont les stomates qui permettent les échanges gazeux et la transpiration. Certaines cellules de l'épiderme, en s'allongeant peuvent produire de poils tecteurs ou sécréteurs d'essence et de résine. L'épiderme joue essentiellement un rôle de protection contre l'attaque des parasites. Comme il est imperméable, il s'oppose, mais partiellement seulement, à la déshydratation.

*Les cellules épidermiques*

Ce sont des cellules vivantes qui présentent une grande vacuole entourée d'un cytoplasme périphérique sans chloroplastes. Elles renferment parfois des pigments caroténoïdes localisés dans les chromoplastes (par exemple chez les oranges des flavons –exemple la couleur des citrons- et des entocyares –le bleu violet jusqu'à rouge au niveau des pétales). Cette accumulation des pigments se fait au niveau des vacuoles. Observés de face les cellules épidermiques des tiges sont allongées, étroitement imbriquées ne laissant entre elles aucun méat.

Chez monocotylédones, les cellules épidermiques sont allongées longitudinalement et possèdent des parois rectilignes, chez les gymnospermes et dicotylédones, les cellules de l'épiderme ont un contour sinueux ou polygonal. La paroi interne et les parois latérales sont généralement minces et cellulosiques. Elles peuvent devenir (très rare) très riches en cellulose comme la paroi des cellules du collenchyme. La paroi externe des cellules épidermiques est appelée cuticule et comprend trois couches constituées principalement de cutine. C'est une molécule lipidique excrétée par le cytoplasme. Ces couches cuticulaires intermédiaires sont formées d'un mélange de cutines et de cellulose. La couche la plus interne de cette paroi est formée uniquement de cellulose. La cuticule a pour rôle de freiner les pertes d'eau, elle est très épaisse chez les espèces adaptées à la sécheresse. Chez certaines espèces, tel que le figus (la figue), le pinus (le pin) et le serium allander (laurier rose), il se forme, entre l'épiderme et le parenchyme, une ou deux assises de cellules que l'on appelle l'hypoderme. La paroi externe émet parfois des prolongements vers l'intérieur

de la cellule. A la surface de ces prolongements se dépose du carbonate de calcium, ces formations s'appellent les cystolite et on les observe chez le ficus et le chanvre.

### 2.4.2 Les poils épidermiques (fig. 60)

Ce sont des expansions importantes de certaines cellules épidermiques. Ils peuvent être pluricellulaires et provenir de la division d'une cellule épidermique initiale. L'ensemble des poils épidermiques est appelé trichome. Lorsqu'ils sont denses, ils permettent de limiter la transpiration et la perte d'eau dans les plantes (par exemple pour le cactus). Ces aiguillons des feuilles et des tiges chez le framboisier et le rosier sont des poils massifs et sclérifiées (riches en lignine). On peut avoir également des poils sécréteurs, ils ont une origine qui est la division d'une cellule épidermique et une accumulation au niveau de leur cytoplasme des essences qui sont sécrétées chez certaines espèces sous la cuticule de leurs cellules terminale.

### 2.4.3 Les stomates

Ce sont les ouvertures au niveau de l'épiderme qui contrôle les échanges gazeux et de vapeur d'eau entre la plante et l'atmosphère. Vue de face, les stomates sont constitués de deux cellules réniformes (en forme de rein) qu'on appelle les cellules de garde. Leur cloison commune est percée d'une ouverture réglable qu'on appelle l'ostiole surmontant une espèce dépourvue de cellules, la chambre sous stomatique. Contrairement aux autres cellules de l'épiderme, les cellules de garde sont liées à des cellules annexes qui sont également chlorophylliennes.

Il existe des stomates appelés stomates aquifères, ce sont des tomates qui émettent de l'eau à l'état liquide, c'est un phénomène que l'on appelle phénomène de quitation. Ces stomates aquifères sont situés sur les bords des feuilles et des structures nectarifères. Ils sont généralement en très faible nombre, il n'existe pas de chambre sous stomatique. A la surface, on trouve un tissu aquifère, les cellules de garde n'ont pas de chloroplastes et l'ostiole est toujours couvert.

### 2.4.4 Liège ou suber (fig. 61 62 63)

Le liège se forme par l'activité d'un méristème secondaire appelé assise subéro phellodermique ou phellogène. Le liège est présent uniquement chez

certaines espèces de gymnospermes et de dicotylédones. Il est formé de cellules mortes sans méat, disposés en fils radiales et à paroi subérifiée. Il empêche les échanges gazeux avec l'extérieur mais il est interrompu de place en place par les lenticelles.

Ce sont des zones lâches faisant sailli à la surface de la tige et de la racine. Le rôle des lenticelles est comparable à celui des stomates mais les échanges gazeux n'y sont pas réglables. Les lenticelles sont observées sur l'écorce de la sole (salix), du bouleau (betula), de l'avocatier (percea) et du sureau (sambucas).

## 2.5 Les plantes supérieures

# Chapitre 3

# La tige

Le cylindre centrale contient : le péricycle, les éléments conducteurs et le parenchyme médullaire. La tige, structure primaire, est caractérisé par un rapport surface écorce / cylindre centrale inférieur à 1.

## 3.1 Morphologie externe

### 3.1.1 tige herbacée (fig.95)

Tige = tous organes qui portent des feuilles qu'il soit aérien ou sous-terrain

Tige = axe vert, mince et souple

Les premières feuilles sont simples et insérées au niveau d'un nœud. L'espace entre 2 nœuds = entre-nœud.

Un nœud est une zone de la tige où existe un bourgeon axillaire qui peut être à l'origine d'un rameau. Les autres feuilles de ce type sont simples ou composées et insérées au niveau d'autres nœuds. C'est à la base de chaque feuille que se forme le bourgeon axillaire. Le développement de la tige se fait grâce à l'activité d'un bourgeon appelé méristème apical ou terminal. Ce type de tige ne vit qu'une seule année. La tige est constituée essentiellement par du tissus de type parenchyme et collenchyme. Elle contient très peu de sclérenchyme.

### 3.1.2 Tige ligneuse

Formée d'un tronc ramifié à partir d'une certaine hauteur. Couleur brune et est constituée essentiellement de vaisseaux du bois et du liège. Au printemps, de l'année de germination de la graine de la plante, la tige est de type

herbacée. A la fin de l'automne, les feuilles tombent et la tige persiste. Les bourgeons axillaires et les méristèmes apicaux seront à l'origine de rameaux avec des feuilles. En même temps, les méristèmes secondaires entrent en activité et donnent les structures secondaires : xylème II (xyl ), phloème II (phl), liège, phelloderme.

## 3.2 Ramification des tiges

### 3.2.1 Ramification des herbacés

Les tiges herbacées ne forment pas de ramifications à leur base. Les bourgeons sont dormants. La ramification n'apparaît qu'à partir d'une certaine hauteur ; les rameaux les plus développées sont de bas vers le haut de la tige principale.

### 3.2.2 Ramification des tiges ligneuses

La ramification se poursuit sur plusieurs années et aboutira à la formation d'un arbre ou d'un buisson.

*a. Type arbre*

On observe la présence d'un tronc principal et de ramifications étalées à partir d'une certaine hauteur. On distingue *le développement acrotone* qui est obtenu lorsque le bourgeon axillaire le plus proche du bourgeon apical entre en activité pour donner des rameaux. Ex : ramification de l'érable.

La tige se développe sans ramification pendant 6 à 7 ans ce qui permet la formation du tronc d'arbre. Le bourgeon terminal continue à se développer, en parallèle les bourgeons axillaires prés du sommet de la tige se rallongent obliquement. La taille des rameaux engendrés décroît à mesure qque l'on s'éloigne du bourgeon apical.

Après l'acrotone, on a *le développement hypotone* observé uniquement au niveau des rameaux. Seuls les bougeons axillaires sur la face inférieure du rameau se développent.

*Le développement amphitone* (ex : le sapin), donne une forme en étages à l'arbre. Les bourgeons axillaires existant sur les faces latérales du tronc se développent dans ce cas.

*b. Type buisson*

Ce cas est observé lorsque le tronc est absent.

Au cours de la première année, la tige se développe elle s'incline rapidement sur le sol. La deuxième année, la tige se développe peu mais forme des rameaux qui la dépassent en hauteur. Les rameaux dominants sont situés à la base de la tige principale : développement basitone et sur la face supérieure de la tige, pas de tiges dressées. Il existe des tiges intermédiaires entre buisson et arbre.

## 3.3 Structure de la tige

### 3.3.1 Structure primaire

*a. Chez les dicotylédones et les gymnospermes*

On observe l'épiderme puis une écorce ou zone corticale constituée d'un parenchyme peu épais. On peut trouver quelques assises superficielles de collenchyme. Un anneau de sclérenchyme continu existe dans la partie profonde de l'écorce.

Ensuite l'endoderme, dernière assise de l'écorce. C'est un anneau de cellules améatique ( = sans espaces entre les cellules sans méas) ; il est formé d'une assise unique de cellule parallélépipède à rectangulaire. La paroi reste cellulosique. Les parois radiales subissent un épaississement supplémentaire en forme de cadre subérifié et lignifié = bande de Caspary. Au niveau des cadres, le cytoplasme et la vacuole adhèrent tellement à la paroi qu'ils ne se détachent pas au cours de la plasmolyse.

Les tissus conducteurs xyl et phl I sont groupés en faisceaux criblo-vasculaires. Le xyl est vers l'intérieur et le phl vers l'extérieur de la tige.

Enfin la moelle = parenchyme formé de cellules très larges (parenchyme médullaire) entre les faisceaux criblo-vasculaires est en contact avec l'écorce. Il constitue les rayons médullaires.

organisation des faisceaux criblo-vasculaires

Le phl et le xyl I sont superposés dans la tige. Les éléments conducteurs du xyl n'ont pas tous le même diamètre. Les plus petits calibres sont au sommet du triangle que dessine l'ensemble des vaisseaux ligneux. Ce sont les trachéides annelées et spiralées du protoxyl = zone du xyl I qui se forme en

premier ; dans les tiges âgées les éléments du protoxyl sont étirés, écrasés et en voie de résorption. Les autres éléments du xyl I =métaxyl sont plus larges, d'autant plus qu'on séloigne du protoxyl. Ce sont les vaisseaux réticulés, annelés ou spiralés du métaxyl I. entre ces vaisseaux, on trouve des cellules de type sclérenchyme de petit diamètre à rôle de soutient.

Au dessus du xyl on trouve le phl et enttre les deux on trouve les cellules du cambium qui seront à l'origine des structures II. Les éléments conducteurs du faisceau criblo-vasculaire se différencient à partir d'un tissu embryonnaire = procambium.

En fait dans les tiges très jeunees des faisceaux de procambium occupent la place où se situeront les faisceaux criblo-vasculaires dans la tige différenciée.

Des morceaux de procambium subsisteront entre xyl et phl I et seront à l'origine du cambium situé entre ces deux tissus.

Le phl I se différencie avant le xyl I. La différenciation du phl I se fait de la périphérie vers le centre de la tige = centripète. On dit également que le phl I est exarche car le protophl se différencie prés du péricycle.

La différenciation du xyl I se fait du centre vers la périphérie de la tige = centrifuge ou endarche car le protoxyl apparaît du côté de la moelle.

Pour la différenciation longitudinale, les premiers tubes criblés apparaissent à la base de chaque faisceau. La différenciation du protophl se fait du bas vers le haut de la tige = basifuge. Les premiers vaisseaux ligneux apparaissent à mi-hauteur de chaque faisceau criblo-vasculaire, au voisinage d'un noeud. La différenciation du protoxyl se poursuit ensuite vers le haut et vers la base.

*b. Chez les monocotylédones*

On observe (ex la tige d'asperge : fig. 128) l'épiderme puis un anneau continu de sclérenchyme qui encercle les faisceaux criblo vasculaires les plus externes. Un parenchyme médullaire ou moelle avec de nombreux faisceaux criblo vasculaires disposés en cercle concentrique. Il est très rare de les observer sur un seul cercle. La grosseur des faisceaux criblo vasculaire diminue du centre vers la périphérie de la tige.

Comme chez les dicotylédones, les faisceaux sont formé d'un phloème primaire à l'extérieur et d'un xylème primaire à l'intérieur superposés. Il n'y a pas d'arc de cambium intercalé entre le phloème primaire et le xylème primaire donc pas de structure secondaire.

Chez les monocotylédones,l'écorce est absente ou trés reduite et le nombre de faisceaux criblo-vasculaires est toujours supérieur à 6.

Chez certaines espèces de monocotylédones, le blé, le seigle, l'avoine, le

riz, la tige est dressée et non ramifiée, elle est très rigide avec des entres nœuds creux et des nœuds pleins. On parle de chaume.

Les faisceaux criblo-vasculaires dans les entre-noeuds sont disposés en deux cercles à la périphérie de la tige. Dans la partie centrale se trouve une énorme lacune qui correspond à la moelle résorbée pendant l'élongation de la tige. On parle de lacune médullaire. Au niveau des nœuds, la moelle persiste, les faisceaux criblo vasculaire sont dispersés en plusieurs cercles.

*c. Chez les ptéridophytes*

Ex : Tige de Polypode (Fig 131)

La tige est souterraine, on observe un épiderme qui disparaît dans les régions adultes, un parenchyme homogène riche en amidon, des cordons vasculaires disposés suivant une circonférence irrégulière.

Les faisceaux criblo-vasculaires sont différents de ceux des phanérogames. Au centre de chaque cordon le tissu ligneux formé uniquement de trachéides est complètement entouré par le tissu criblé.

Chaque cordon est limité à l'extérieur par une gaine protectrice formée de cellules lignifiées.

## 3.4 Croissance en épaisseur

La tige garde sa structure primaire chez la plupart des ptéridophytes, des monocotylédones et chez quelques dicotylédones, par exemple, la renoncule.

Chez toutes ces espèces, la croissance en épaisseur est due à un développement des tissus primaires.

Chez les gymnospermes et la plupart des dicotylédones, on observe l'apparition de phellogène et de cambium qui seront à l'origine des structures secondaires.

### 3.4.1 Origine des structures secondaire

*a. Cambium*

Dans chaque faisceau criblo vasculaire de la structure primaire, le cambium apparaît entre le xylème primaire et le phloème primaire. Il est constitué par le reste de cellules non différenciées du procambium. Les différents

morceaux de cambium sont ensuite raccordés en une assise continue qui se forme grâce à la dédifférenciation des cellules du parenchyme existant entre les faisceaux criblo vasculaire .

Le cambium est formé de cellules rectangulaires allongées en file radiale. Les cellules du cambium se divisent suivant une direction radiale (fig. 138) ce qui explique l'alignement des cellules cambiales et des tissus conducteurs de la structure secondaire. Malgré une division cellulaire constante, le cambium a une épaisseur constante. L'activité du cambium est saisonnière.

*b. Le phellogène*

Il apparaît une ou plusieurs années plus tard que le cambium. Il ne se forme jamais chez les plantes herbacées à structure secondaire. Le phellogène résulte de la dédifférenciation d'une assise du parenchyme corticale sous épidermique. L'activité de cette assise est saisonnière et elle peut se former successivement à des niveaux de plus en plus profonds dans l'écorce.

## 3.4.2 Les structures secondaires

*a. Les tiges ligneuses*

L'ensemble du xylème secondaire et du phloème secondaire formé par l'activité du cambium est appelé pachyte. Il forme un anneau continu ou discontinu, le cambium peut être également continu ou discontinu.

Lorsque le cambium est discontinu, il est généralement peu ou non fonctionnel, c'est la cas chez la renoncule. Le phloème secondaire et le xylème secondaire peuvent ne se former qu'au niveau des faisceaux conducteurs primaire.

Le liber (= phl II) et le bois ne peuvent se former qu'au niveau des faisceaux criblo-vasculaires par le cambium fasciculaire.

On parle de pachyte discontinu chez les plantes herbacées. Le cambium entre les faisceaux criblo vasculaire forme un parenchyme II.

Le pachyte continu s'observe dans les arbres, les arbustes, et chez quelques plantes herbacées. Tout le cambium continu forme des structures secondaires conductrices.

*b. Que deviennent les structures primaires ?*

L'épiderme et les couches périphériques de l'écorce au dessus de la zone de formation du phellogène (= I) meurent et disparaissent. L'écorce profonde et le phloème primaire sont écrasés par les formations secondaires et peuvent

disparaître. Seul le xylème primaire et la moelle restent au centre de la tige mais ils meurent et forment, pour une petite part, du *duramen.*

Le duramen est la partie centrale du tronc d'un arbre formée de cellules mortes non fonctionnelles.

Par opposition, l'aubier est la partie périphérique formée de cellules vivantes ou mortes mais fonctionnelles.

### 3.4.3 Les structures secondaires des tiges herbacées

L'importance des structures secondaire est réduite, le parenchyme de l'écorce et la moelle ne sont jamais éliminé. Chez la courge, seul le xylème et le phloème secondaire s'ajoutent, il n'y a pas de liège ni de phelloderme. Ceci est le cas pour la plupart des herbacés.

### 3.4.4 Structure secondaire chez les monocotylédones

Pas de structure secondaire chez les monocotylédones, cependant il existe des plantes qui présentent des tiges épaisses, exemple le palmier. Généralement la tige est plus épaisse à l'extrémité et ce apicale, contrairement à ce qu'on observe chez les tiges de dicotylédones. (fig. 146)

# Chapitre 4

# La racine

La racine a pour rôle la fixation de la plante au sol et l'absorption de l'eau et des éléments minéraux.

## 4.1 Morphologie externe

Il existe deux types de système racinaire.

### 4.1.1 Racine à partir de la radicule (fig.192)

Ce système est formé d'un racine principale = pivot qui fait suite directement à la tige. En se ramifiant, cette racine forme des racines de deuxième ordre (les racines secondaire) qui vont former des racines de troisième ordre en se ramifiant et ainsi de suite. Si la racine principale prédomine, on parle de système racinaire pivotant. C'est le cas chez la carotte et la betterave. Le système racinaire fasciculé résulte de l'arrêt de croissance ou de l'avortement précoce du pivot ou racine principale et de son remplacement par des racines disposées en faisceaux à la base de la tige.

### 4.1.2 Racine à partir de tiges différenciées

Ce sont des racines qui ne prolongent pas la tige principale, elles apparaissent directement sur la tige, on parle de racines adventives. L'aptitude de former ce type de racine chez certaines espèces facilite leur multiplication végétative = bouturage ou marcottage.

## 4.2 Anatomie de la racine

### 4.2.1 racine dicotylédone

*a.Structure primaire*

coupe axiale

De bas en haut de la racine, on observe :

- la coiffe
  Elle présente deux rôles : la protection du méristème apical racinaire et faciliter la progression de la racine dans le sol en le lubrifiant c'est-à-dire elle sécrète un liquide complexe appelé exsudat racinaire qui va permettre le développement de la racine dans le sol.
  La coiffe est constituée de cellules de petite taille qui peuvent s'exfolier vers l'extérieur alors que de nouvelles cellules se forment vers l'intérieur. On pense que la coiffe joue un rôle dans le géotropisme positif de la racine.

- Le centre quiescent
  Ce centre se trouve en position subterminale, il est formé de cellules méristématiques qui se divisent très peu ou pas du tout suivant les espèces.

- La zone méristématique
  C'est à ce niveau que se trouvent les cellules méristématiques à l'origine de toutes les structures primaires de la racine.

- La zone d'élongation Elle s'étend sur un ou deux mm, c'est à son niveau que se fait l'élongation et la formation de la vacuole des cellules, il s'y forme également l'écorce (cylindre cortical) et le cylindre centrale (stèle).

- La zone pilifère
  C'est à son niveau que se forment les poils absorbant qui permettent l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

- La zone subéreuse
  La protection de la racine se fait grâce à des cellules de revêtement dans la paroi périphérique et riche en subérine. On n'observe pas de poils absorbants.

Coupe transversale

On observe deux cylindres concentriques, l'externe, c'est l'écorce, et l'interne, c'est le cylindre centrale ou *stèle.* Et le rapport écorce / cylindre centrale est largement supérieur à 1 dans la racine.

–>L'écorce

Après la chute des poils absorbant, l'assise subéreuse ou exoderme remplace *l'assise pilifère ou rizoderme* à la surface des racines. Certaines cellules de cette assise conservent une paroi périphérique cellulosique qui permet des échanges gazeux avec l'air du sol. On observe un parenchyme cortical formé de cellules à paroi cellulosique, c'est un tissu de réserve souvent riche en amidon.

*L'endoderme* est un anneau améatique, sans méat, formé d'une seule assise cellulaire, c'est l'assise la plus profonde du cylindre cortical ou écorce. Les cellules ont la forme parallélépipède rectangle, la paroi interne et externe de chaque cellule est cellulosique, alors que les parois latérales de chaque cellule présente un cadre subérifiée et lignifié, ce sont *les bandes de Caspary.*

L'endoderme chez la plupart des gymnospermes et des angiospermes dicotylédones est permanent.

Le cylindre centrale est formé d'un parenchyme fondamentale dans lequel se trouve séparés l'un de l'autre et alternant entre eux un phloème primaire et un xylème primaire.

On y observe également le péricycle, c'est une assise améatique, c'est la couche la plus externe du cylindre central.

Les rayons médullaires sont constitués par le parenchyme occupant l'espace compris entre la moelle, le péricycle et les structures de conduction.

Le xylème primaire est formé de vaisseaux et d'un parenchyme ligneux. Sa différenciation est centripète, il est exarche c'est-à-dire que Le protoxylème est en contact avec le péricycle.

Le phloème primaire est constitué, de cellules campagnes, de parenchyme et rarement de fibres. Sa différenciation est centripète, il est exarche.

*b.Les structures secondaires*

Le cambium

Dans la racine comme dans la tige, le cambium peut exister seul sans le phellogène. Le cambium apparaît le long d'une ligne passant d'une part entre la moelle et le phloème primaire, et d'autre part entre le péricycle et le xylème primaire.

Le cambium va former le xylème secondaire vers l'intérieur de la racine, développement centripète, et du phloème secondaire vers l'extérieur, développement centrifuge. Il se forme ainsi un pachyte qui, selon les espèces, peut être continu ou discontinu.

En hiver, le cambium arrête son activité pour la reprendre au printemps. Un nouveau pachyte se forme ainsi chaque année.

Le fonctionnement du cambium de la racine est similaire à celui de la tige.

Le phellogène

Si la position du cambium est constante, celle du phellogène est variable. Le plus souvent, il se forme au niveau du péricycle, mais il a été observé au niveau du parenchyme cortical et même au niveau de l'assise subéreuse.

L'écorce primaire, isolée par le périderme, va se rendre et s'exfolier rapidement.

**Rappel : Pas d'épiderme dans la racine**

### 4.2.2 La racine des monocotylédones

Quelques différences anatomiques par rapport aux racines de dicotylédones ont été observées :

Au niveau de l'écorce, l'assise subéreuse est remplacée par une couche de cellules plus ou moins subérifiée appelées le subéroïde. Le subéroïde joue un rôle de protection, c'est exclusivement une formation primaire.

L'endoderme présente des cellules à paroi complètement subérifiée à l'exception de la paroi externe. Il se forme un endoderme avec des cellules en forme de fer à cheval. De plus, toujours dans l'endoderme, en face du xylème, certaines cellules dites cellules de passage, ne subissent pas d'épaississement. Elles facilitent les échanges entre le parenchyme cortical et le cylindre central.

Le cylindre central est plus développé, le péricycle peut être formé de plusieurs assises cellulaires. Les faisceaux criblo vasculaire sont souvent plus nombreux, le métaxylème est plus important, la moelle plus abondante, elle se sclérifie plus ou moins complètement dans les parties âgés de la racine. Dans les structures âgées de la racine, les structures secondaires sont très rares.

### 4.2.3 La racine des gymnospermes

On note des différences par rapport aux racines des dicotylédones

Formation d'un nombre limité de poils absorbants, le péricycle est formé de plusieurs assises cellulaires, sclérification fréquente des assises internes du parenchyme cortical et de l'endoderme.

# Chapitre 5

# La feuille

C'est le cycle de la photosynthèse dont cde la formation de la sève élaborée, ainsi que des échanges gazeux avec le milieu extérieur. Ce sont des expansions latérales de la tige ou des rameaux. Ils sont presque toujours verts.

## 5.1 Caractères généraux

La feuille est un organe aplati dont l'une des faces tournée vers *l'entre nœud supérieur*, est nommé *face supérieur, face ventrale* ou, plus souvent, *face adaxiale*. La face, tournée vers *l'entre nœud sous jacent* est appelée *face inférieure ou dorsale.*

La durée de vie des feuilles est plus courte que celle de la plante qui les porte. *Les plantes vivaces*, c'est-à-dire moins de deux ans, se distingues selon que leurs feuille ne durent pas plus q'un été, on parle de plante à feuille caduque et celle dont les feuilles vivent deux à cinq ans, *plante à feuille persistante.*

Une feuille typique est formée de *la base foliaire,* parfois dilatée en gaines et pouvant comporter des dépendances, exemple : les stipules et les ligules.
*Le pétiole,* qui ressemble à un petit rameau, *le limbe,* c'est la parti fonctionnelle de la feuille généralement aplatie.

Chez les feuilles, les stomates sont répartis de façon variable. Quand les feuilles sont orientées verticalement, les deux faces reçoivent un éclairement égal et portent toutes deux des stomates, on dit que ces feuilles sont *anphistomatées.* Ces feuilles sont fréquentes chez les monocotylédones et chez

l'eucalyptus.

Quand les feuilles sont orientées horizontalement, les deux faces sont éclairées différemment, les stomates existent presque exclusivement au niveau de la face inférieur, on dit que les feuilles sont *hypostomatée.*

Enfin, les feuilles flottantes, sur l'eau, les stomates ne sont présentes que sur la face supérieure, les feuilles sont *épistomatée.* Chez les plantes aquatiques, quand les feuilles sont complètement immergées, les stomates sont absents.

### 5.1.1 Type de feuille

*a.Les feuilles simples*

Les feuilles simples sont des feuilles dont le limbe n'est pas subdivisé en segments indépendants.
On y trouve *les feuilles crénelée,* ce sont des feuilles qui possèdent des bords pourvus de sinuosités ou de dents obtuses.
*Les feuilles dentées* ont des bords riches en dents aigues.
*Les feuilles lobées* présentes une marge découpée en lobes.

*Les feuilles composées*

Ce sont des feuilles dont la nervure principale ou le pétiole sont ramifiées.
Chaque ramification se termine par un limbe particulier appelé *foliole (petite feuille).* On a donc différents types :

- **Les feuilles composées pennées** ont des folioles disposés sur le pétiole principal et fixé par une *pétiolule.* Ces feuilles sont *imparipennées, le rachi ou pétiole principale* se termine par une foliole ou *paripenné.* Le rachis se termine par une pointe ou par une vrille. Si le pétiole se ramifie plusieurs fois, les feuilles sont dites *dipennées.*

- **Les feuilles composées palmées** possèdent des folioles au nombre de trois, cinq, sept,...qui partent d'un même point au sommet du pétiole. Exemple : le marronnier.

- **Les feuilles composées pédalées.** Le pétiole se ramifie en trois pétiolule dont les deux latéraux se subdivisent à leur tour deux fois. Tous

les pétiolules se terminent par du limbe.

*Le polymorphisme foliaire* désigne le fait qu'un même individu peut posséder des feuilles de différentes formes ou de type. Le polymorphisme foliaire est dit vrai lorsque les diverses feuilles d'un individu adulte ont des formes différentes. Exemple : les feuilles des rameaux stériles et fertiles du lierre.

On peut avoir des différences entre des feuilles apparues à différents stades du développement des plantes. Les toutes premières feuilles d'une plante, les cotylédons et les feuilles qui lui succède, les feuilles juvéniles, sont généralement différentes de celles de la plante âgée, exemple : l'érable.

Le polymorphisme foliaire peut résulter de l'influence du milieu, exemple chez la renoncule, cette plante aquatique montre des feuilles flottantes à limbe normal, et des feuilles submergées à limbe découpé en lanières étroites et inégales.

## 5.2 La morphologie externe

### 5.2.1 Les feuilles des dicotylédones

On observe le limbe et le pétiole, qui permet de rattacher le limbe à la tige, il s'élargie à la base en formant une gaine qui se fixe plus ou moins complètement à la tige. Il peut formé deux petites lames foliacée à la base, qu'on appelle *stipule.*

*a.Le limbe*

Il contient de la chlorophylle, capable d'assure la photosynthèse.
Le limbe est parcouru par une nervure principale, et des nervures secondaires.

Sur cette base, on peut distinguer plusieurs types de feuilles :

- **La nervation pennée** : la nervure principale porte des nervures secondaires

- **La nervation palmée** : les nervures sont rayonnantes, elles divergent à partir d'un même point.
- **La nervation pédalée** : le limbe présente trois nervures rayonnantes, les autres nervures sont des ramifications des nervures latérales toujours orienté vers la base feuille
- **La nervation parallèle** : elle est exceptionnelle chez les dicotylédones.

*Le petiole*

Le pétiole est toujours étroit, cylindre ou décliné légèrement sur sa face supérieur. Il peut être absent, on parle de *feuille sessile.*

Le limbe peut s'insérer directement sur la tige lorsque la gaine est absente, lorsque le limbe est réduit ou absent, le pétiole s'élargit souvent en une lame chlorophyllienne, il prend un aspect foliacé et assume les fonctions de photosynthèse, il est appelé alors *phyllode.*

### 5.2.2 Les feuilles des monocotylédones

On observe deux types de morphologie :

- La feuille de tulipe : le limbe est entier à nervation parallèle, il se fixe directement sur la tige par une gaine
- Le deuxième type est observé chez l'iris, les feuilles sont insérées à l'extrémité du rhizome, elles forme un bouquet dense dressé verticalement au dessus du sol.

La feuille est une expansion latérale de la tige, elle est constituée pour une large part des tissus qui composent la tige. Contrairement à la tige et à la racine, où la symétrie est axiale, la feuille présente une symétrie bilatérale. Cette différence se manifeste dès le pétiole.

## 5.3 La feuille des dicotylédones

Le limbe de dicotylédones comporte trois tissus :

- *L'épiderme* : il est formé généralement d'une seule couche, on distingue *l'épiderme ventral* de la face supérieur de la feuille, cet épiderme pré-

sente une paroi périphérique très développée, cuticule, il est habituellement dépourvue de stomates. *L'épiderme dorsal* de la face inférieur, la cuticule est mince, riche en stomate.

- *Le mésophile* : c'est le parenchyme de la feuille, c'est un parenchyme chlorophyllien le plus souvent bifacial asymétrique (voir TD).

  Il comprend un parenchyme palissadique formé d'une ou plusieurs couches de cellules, les cellules sont riches en chloroplastes, c'est un parenchyme améatique, il est situé sous l'épiderme supérieur entre lequel les cellules sont disposée perpendiculairement.

  Le parenchyme lacuneux, localisé entre l'épiderme inférieur et le parenchyme palissadique, moins riche en chloroplaste, il présente de grandes lacunes entre les cellules arrondies. Le parenchyme contrôle les échanges gazeux entre la feuille et l'atmosphère.

  Le mésophile difacial asymétrique est très largement répandue chez les dicotylédones, il se rencontre au niveau des feuilles étalées horizontalement, cependant, il existe le mésophile homogène et le mésophile hétérogène symétrique.
  Le mésophile homogène consiste en un parenchyme améatique constitué de cellules toutes identiques. Il est observé chez le pantin et la plupart des feuilles monocotylédones. Il se rencontre dans les feuilles qui reçoivent un éclairement de même intensité sur les deux faces.
  Le mésophile hétérogène symétrique est beaucoup plus rare, il est caractérisé par une couche médiane parenchyme lacuneux recouvert de part et d'autre par du parenchyme palissadique. Exemple : chez l'eucalyptus.
  Dans certains cas, le mésophile peut contenir une ou plusieurs couches d'hypoderme, situées sous l'épiderme supérieur, cette couche joue un rôle de protection contre les insolations intenses. Exemple : le bananier, le figuier et le laurier rose. Il peut contenir aussi des formations de soutiens, des amas de sclérenchymes ou de collenchyme et enfin des éléments de sécrétions très variés.

  Les nervures permettent le prolongement dans le limbe des tissus conducteurs. La nervure principale forme une crête sur la face inférieure du limbe, elle forme un large faisceau criblo vasculaire avec un xylème orienté vers la face ventrale et un phloème orienté vers la face dorsale, ces deux structures sont superposées.

La nervure principale présente des tissus de soutient, du collenchyme près de l'épiderme, et du sclérenchyme près des vaisseaux.
La structure des nervures se simplifie à mesure que les niveaux observés sont éloignés du pétiole.
Les nervures de gros calibre peuvent posséder un cambium qui fonctionne temporairement. Le phloème est souvent absent, on observe que des vaisseaux annelés du xylème avec quelques cellules de type parenchyme.

On observe un parenchyme homogène peu chlorophyllien, les faisceaux criblo vasculaires sont entourés d'une gaine de cellules lignifiées.

## 5.4 La feuille des monocotylédones

Ces feuilles présentes leur propres caractéristiques.

Les cellules de l'épiderme sont allongées et possèdent des parois rectilignes.

Les stomates sont répartis de façons égale.

Le mésophile et homogène à l'exception du lys (184).

Les nervures présentent les nervures médianes et les nervures marginales, elles sont parallèles, et reliées entre elles par de fines nervures transversales 185.

Les cellules de la gaine qui entourent les faisceaux criblo vasculaire présentent des épaississements importants de la paroi.

## 5.5 La feuille des gymnospermes

L'épiderme présente des cellules à paroi épaisse et souvent cutinisé.

L'hypoderme : couche de cellule se trouvant sous l'épiderme supérieur présente des cellules à paroi épaisse et lignifié. L'hypoderme est interrompu au niveau des stomates souvent enfoncés.

Le mésophile est homogène, des canaux de résines sont souvent présents à sa périphérie.

Deux faisceaux criblo vasculaire constitué le système conducteur. Ils sont entourés d'un tissu de transfusion particulier aux gymnospermes.

Le tissu de transfusion est constitué de cellules de parenchyme, ils sont à paroi cellulosique, et les cellules mortes dont les parois lignifiées présentent

des ponctuations aréolés, le rôle de ce tissu est inconnu.

Un endoderme avec cadre de Gasparri y est également observé.

# Chapitre 6

# Les tissus

**Les cellules d'un végétal vont se différencier, se spécialiser pour former différents tissus. Le regroupement de ces tissus en vue d'assurer les différentes fonctions donneront naissance aux organes : racines, tiges, feuilles et fleurs.**

La formation des organes et des tissus résultent de l'activité des méristèmes et a lieu tout au long de la vie de la plante. Ceci est une des caractéritiques des organismes végétaux puisque chez les animaux, la formation des organes et des tissus a surtout lieu durant l'embryogenèse.

## 6.1 Les méristèmes

Ils sont formés de petites cellules indifférenciées isodiamétriques qui se divisent intensément pour assurer le développement de la plante.

Les méristèmes primaires apparaissent en premier au cours de l'embryogenèse. Localisés aux extrémités des tiges et des racines, ils assurent la croissance en longueur de la plante et donnent naissance aux tissus primaires et aux méristèmes secondaires.

Ces méristèmes secondaires assurent le développement en largeur en augmentant le diamètre des divers axes (tiges, racines). Ils sont à l'origine des tissus dits secondaires. Les méristèmes secondaires existent chez tous les spermaphytes à l'exception des monocotylédones.

## 6.2 Les tissus superficiels

L'épiderme est le tissu superficiel des feuilles et des tiges jeunes. Il ne comporte, en général, qu'une seule assise cellulaire. La paroi externe des cellules est épaissie d'une couche imperméable, ou cuticule, qui réduit les pertes d'eau par évaporation.

L'épiderme est interrompu de place en place par des ouvertures (stomates) bordées par deux cellules stomatiques qui se resserrent ou s'écartent, réglant ainsi les possibilités d'échange gazeux et de vapeur d'eau avec l'extérieur.

Dans les plantes à croissance secondaire (gymnospermes et angiospermes dicotylédones), l'épiderme est remplacé par un périderme. Celui-ci provient du fonctionnement d'un méristème secondaire qui produit vers l'extérieur des cellules qui meurent et forment le liège (écorce de tronc d'arbre), vers l'intérieur un tissu vivant, le phelloderme.

## 6.3 Les tissus vasculaires

Le xylème assure la circulation de la sève brute (sève ascendante), composée d'eau et de sels minéraux puisés par les racines. Il est constitué de cellules mortes dont les parois longitudinales sont épaissies par des dépôts de lignine interrompus de place en place. Chez les fougères, les épaississements sont disposés comme des barreaux d'échelle (trachéides scalariformes) ; chez les gymnospermes, seules de petites formations circulaires, les aréoles, ne sont pas épaissies (trachéides aréolées) ; chez les plantes à fleurs, les épaississements forment des anneaux, une spire continue ou un réseau (trachéides annelées, spiralées, réticulées). Les vaisseaux parfaits, dépourvus de paroi transversale et propres aux plantes à fleurs (angiospermes), sont annelés, spiralés, réticulés, ponctués suivant leur stade de différenciation.

Le phloème assure la circulation de la sève élaborée (sève descendante) qui est enrichie des substances issues de la photosynthèse. Il est composé de tubes criblés constitués de cellules allongées, vivantes mais ayant perdu leur noyau, dont les cloisons transversales sont perforées et au-travers desquelles circule la sève. Ces tubes sont flanqués de cellules compagnes plus petites, vivantes et nucléées, et supposées participer au contrôle des échanges entre tubes criblés et organes végétaux.

Les éléments de conduction de la sève sont groupés en faisceaux. Dans les racines, faisceaux du xylème et faisceaux du phloème alternent. Dans les tiges, ils sont superposés (ceux du phloème étant les plus externes) en faisceaux indépendants.

## 6.4 Les tissus assimilateurs et de réserve

Ce sont les parenchymes nés du fonctionnement des méristèmes. Ils sont formés de cellules vivantes mais qui ne se divisent pas. On distingue les parenchymes assimilateurs, périphériques et chlorophylliens, qui font la photosynthèse, et les parenchymes de réserve, plus internes, qui accumulent des composés oragniques (sucres, lipides, protéines). La structure des parenchymes est plus ou moins compacte. Aussi, le parenchyme lacuneux, qui est très poreux a un rôle dédié aux échanges gazeux avec le milieu.

## 6.5 Les tissus de soutien

À côté des faisceaux de xylème, qui jouent un important rôle de soutien, se trouvent des éléments particuliers formés par des cellules vivantes à parois très épaissies. Ils constituent le collenchyme, aux parois cellulaires cellulosiques, dans les axes jeunes, et le sclérenchyme, aux parois épaissies de lignine et dont les cellules sont mortes, plus abondant dans les végétaux dont la croissance est terminée. Ce type de tissus renforce la résistance mécanique des différents organes de la plante.